第40卷 第2期
2023年2月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 40 No. 2
Feb. 2023

河西走廊天然胡杨林的分布和更新特征及其与土壤因子的关系

马俊梅[1,2]， 马剑平[1]， 满多清[1]， 郭春秀[1,2]， 张裕年[1,2]，
赵 鹏[1]， 王 飞[1]， 李元星[1]

（1. 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730000；2. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地，甘肃 武威 733000）

摘 要：通过对河西走廊天然胡杨林立地类型、分布、生长、更新特征及土壤因子调查，分析河西走廊天然胡杨分布、更新特征及其与土壤因子的关系。结果表明：(1) 河西走廊天然胡杨林分布以疏勒河、黑河、石羊河三大流域的河岸阶地、古河道阶地及各流域下游绿洲耕地边缘为主。根据土地利用现状和立地条件，将现有天然胡杨林分为弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地、古河道及戈壁低洼地林地4个类型。(2) 耕地及灌渠周围林地和现河道沿岸林地胡杨生长、龄级构成及幼苗更新均优于弃耕地林地和古河道及戈壁低洼地林地；仅单位面积更新幼苗株数而言，耕地及灌渠周围林地最多，均值为22.13，其次是弃耕地林地20.92、现河道沿岸林地10.50，古河道及戈壁低洼地林地最少，为1.33。(3) 不同类型胡杨林中，土壤因子各不相同，在0~20 cm及20~40 cm土层中，耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地土壤含水量均高于弃耕地林地和古河道及戈壁低洼地林地，且具显著性差异($P<0.05$)；0~20 cm土层中，土壤速效P表现为：现河道沿岸林地＜古河道及戈壁低洼地林地＜弃耕地林地和耕地及灌渠周围林地，20~40 cm土层中，现河道沿岸林地土壤速效P明显低于其他3类林地($P<0.05$)；全N与有机质含量在不同类型林地中无显著差异($P>0.05$)；土壤电导率在0~20 cm和20~40 cm土层中，表现为弃耕地林地显著小于其他3类林地($P<0.05$)，尤其40~60 cm土层中，古河道及戈壁低洼地林地显著大于其他3类林地($P<0.05$)；不同类型林地中，除0~20 cm土层中粗沙粒外，各土层中耕地和灌渠周围林地土壤黏粒、粉粒、粗沙粒占比均高于其他3类林地($P<0.05$)。(4) 土壤水分、速效P含量与胡杨中龄、幼龄及幼苗株数呈正相关关系($P<0.05$)。加强林地管护，适时疏枝、去除枝枯梢、间伐及灌溉补水，可推动胡杨林可持续发展。

关键词：河西走廊；天然胡杨；分布更新；土壤因子

胡杨(*Populus euphratica*)为杨柳科杨属植物，具有耐盐碱、耐干旱、抗风沙及适应极端环境等特性，在我国主要分布于西北干旱内陆河流域，是该区域特有的、唯一的天然建群落叶乔木，也是西北干旱荒漠绿洲主要的生态屏障，为维护西北地区生态平衡发挥着极其重要的作用[1-5]。自20世纪以来，随着气候变化，人口增加，耕地扩展，水资源的不合理开发，河西内陆河流域水资源减少，区域生态恶化，疏勒河、黑河和石羊河三大内陆河流域胡杨林呈衰败模式，有成片的胡杨林死亡，分布面积缩小，林分衰退，更新受阻，其生态屏障功能减弱[6-12]。近年来，随着国家生态建设力度加大，河西三大内陆河流域综合治理工程相继实施，水资源得以统筹利用，各流域中下游胡杨分布区水文条件得到改善[13]，为胡杨种群恢复提供了良好的条件。胡杨因其独特的观赏性，正在成为当地城镇园林绿化和生态旅游业的热点树种，胡杨林恢复已成为区域生态建设和地方经济发展的一项重要举措，而如何科学合理地恢复和发展胡杨林成为亟待解决的关键问题。目前，已有学者在其他地区不同环境条件下就胡杨的繁殖特征与更新特征进行研究[14-16]，但对甘肃河西地区天然胡杨繁殖与更新特征的研究报道较

收稿日期：2022-07-22； **修订日期：**2022-10-11
基金项目：省重点研发计划项目(20YF8FA105)；国家自然科学基金(31860175)；省重点研发计划项目(21YF5NA034)
作者简介：马俊梅(1968-)，女，正高级工程师，主要从事植被修复及荒漠化防治. E-mail: gsmqyz@tom.com
通讯作者：马剑平. E-mail: 3000ping@163.com

少。本文在对河西天然胡杨林分布、生长、更新及立地环境特征等情况进行调查的基础上,阐明河西天然胡杨林分布、更新特征,拟分析胡杨林退化原因、自然更新限制因子等,为胡杨林恢复重建提供科学依据和合理策略。

1　研究区概况

河西走廊位于甘肃省境内,东起乌鞘岭,西至星星峡,南侧是祁连山脉,北侧是龙首山、合黎山和马鬃山,长约1000 km,总面积为27.11×10^4 km^2,约占甘肃省面积的60%,地理位置37°17′~42°48′N,93°23′~104°12′E,行政隶属于甘肃省张掖、酒泉、武威、金昌、嘉峪关5个市。该地区地势南高北低,南部祁连山区海拔大部分在3000~3500 m以上,山前倾斜平原海拔一般为1300~2500 m,以黑山、宽台山和大黄山为界将走廊分隔为石羊河、黑河和疏勒河三大内陆河流域。由于地处欧亚大陆腹地,远离海洋,受地形和海拔高度的影响,河西走廊气候干旱,水热条件分布不均,降水量区域差异显著,大部分地区的年降水量在200 mm以下,年蒸发量为2000~3000 mm,属典型的大陆性干旱气候,是气候变化的敏感区和生态脆弱带。胡杨分布区植被除人工栽植植物外主要以旱生和超旱生灌木和草本为主,人工栽植植物有二白杨(*Populus gansuensis*)、新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)、榆树(*Ulmus pumila*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等;天然灌木主要有柽柳(*Tamarix ramosissima*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、枸杞(*Lycium barbarum*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、红砂(*Reamuria songarica*)等;半灌木有骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、合头草(*Sympegma regelii*)、灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)、红花岩黄耆(*Hedysarum multijugum*)等;草本主要有花花柴(*Karelinia caspia*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)、驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、黄花矶松(*Limonium aureum*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)、宽叶独行菜(*Lepidium latifolium*)、乳苣(*Mulgedium tataricum*)、大叶白麻(*Apocynum pictum*)、沙米(*Agriophyllum arenarium*)、芦苇(*Phragmites australis*)、赖草(*Leymus secalinus*)、甘青铁线莲(*Clematis tangutica*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、田旋花(*Convolvulus arvensis*)、蒙古鸦葱(*Scorzonera mongolica*)、河西菊(*Hexinia polydichotoma*)、虎尾草(*Chloris virgata*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、针茅(*Stipa capillata*)等。河西走廊西部土壤类型以棕色荒漠土为主,中部为灰棕荒漠土,东部则为灰漠土、淡棕钙土和灰钙土。

2　研究方法

2.1　林地类型划分及样地设置

2021年9月,以当地林业部门提供的相关资料为基础,对河西走廊天然胡杨林进行调查。为了便于分析,根据河西走廊天然胡杨林立地类型和土地利用现状实际,将研究区胡杨林地分为弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地、古河道及戈壁低洼地林地等4种类型,再根据各类林地分布数量,共设置样地33个,其中弃耕地林地6个、耕地及灌渠周围林地8个、现河道沿岸林地10个、古河道及戈壁低洼地林地9个,不同类型胡杨林样地分别设置于不同流域;样地大小以每一分布点胡杨林实际面积确定,分布面积大于50 m×50 m的成片林,样地大小为50 m×50 m,分布面积小于50 m×50 m时,样地大小以实际分布面积为准,最小样地面积为50 m×20 m。对所有调查到的胡杨分布点进行坐标定位。

2.2　植被调查与土样采集

植被调查:调查每一样地内所有胡杨株数、树高、胸径、冠幅及生长情况,并分龄级计数,为了便于分析,将样地内胡杨各龄级株数及幼苗株数统一换算成1000 m^{2}内的株数;胡杨龄级划分采用胸径替代法,即:5 cm≤D<12 cm为幼龄树,12 cm≤D<25 cm为中龄树,25 cm≤D<50 cm为成熟龄树,D≥50 cm为过熟龄树,胸径5.0 cm以下的计为幼苗数[17],同时调查样地内植物种类及盖度。

土样采集:在每一样地内以五点法用土钻钻取胡杨根区(距树杆100 cm)土壤,取样深度为0~20

cm、20~40 cm、40~60 cm,同一样地5个样点同一土层土样混合,然后分装两份,每份约100 g。一份随即称重(土壤鲜土重),然后带回室内烘干再称干重,测定土壤水分;另一份带回实验室,测定土壤养分、电导率及颗粒组成等。33个样地共取土样198份。

2.3 土壤因子测定

土壤有机质采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤全N采用凯氏消煮蒸馏法;土壤速效P采用氢氧化钠溶液-钼锑抗比色法;土壤pH值用蒸馏水(水土比5:1)浸提后pH计测定;电导率测试仪测定土壤电导率[18];土壤颗粒组成采用马尔文激光粒度分析仪测定;土壤含水量采用烘干称重法测定,使用重量百分比表示,即土壤重量含水率=[(土壤鲜质量(g)-土壤干质量(g))/土壤干质量(g)]×100%。

2.4 数据统计与分析

利用Excel 2016对调查数据进行录入、整理和计算,SPSS 20对不同类型林地土壤水分、养分、颗粒组成及电导率等指标进行单因素方差分析(one-way ANOVA),对样地内胡杨各龄级株数及更新幼苗株数与土壤因子之间的关系进行Pearson相关性分析,显著性水平$P<0.05$。

3 结果与分析

3.1 河西走廊天然胡杨林分布

河西走廊天然胡杨林分布以疏勒河、黑河、石羊河三大流域的河岸阶地、古河道阶地及各流域下游绿洲耕地边缘为主。据2017年甘肃省林地年度变更调查,河西走廊现存集中连片的胡杨林面积为4506.59 hm^2,其中:黑河流域天然胡杨林1732.03 hm^2,人工林1629.95 hm^2;疏勒河流域天然胡杨林28.12 hm^2,人工林196.48 hm^2;石羊河流域天然胡杨林220 hm^2,人工林700 hm^{2}左右[19]。

疏勒河流域天然胡杨从玉门市下西红号至阿克塞多坝沟水径流河道、河床两侧及戈壁低洼地呈零散点片状分布,以成熟林、中龄林为主。其中河曲部位幼龄树和中龄树较多,长势正常;远离河床和戈壁低洼地分布的胡杨林林龄较大,长势不佳,尤其流域北部及西南戈壁低洼地区胡杨林,多为高3~5 m的"小老头"树,林下土壤盐渍化严重,胡杨枯枝、枯梢甚至死亡现象明显;分布在玉门、瓜州、肃北、敦煌、阿克塞等地靠近农田的胡杨林,各龄级比较均匀,生长正常。

黑河流域的天然胡杨主要分布在高台、金塔县区。具体现状为:一是沿黑河两岸断断续续呈带状分布的胡杨林,长势相对较好;二是远离现有河流的胡杨林呈零散的点状疏林分布,长势较弱;三是绿洲内部农耕地周围的胡杨林,多呈零星的点片状分布,胡杨生长正常;四是金塔北部黑河河阶地个别地段的胡杨,大部分更新幼苗或枯死或只留残根,成龄树木因风蚀严重主根裸露达1 m以上,有大量的枯枝、枯梢、枯干甚至死亡,林下原生植被退化,林分衰败,林地沙化。

石羊河流域的天然胡杨主要分布在下游民勤县境内。沿石羊河下游古河道、现渠系及绿洲耕地边缘呈零散的点状分布。接近耕地和现渠系的胡杨生长正常,远离耕地或弃耕年限较长的土地周围胡杨则生长较弱,枯枝枯梢现象严重。

3.2 不同类型天然胡杨林特征及植物构成

由表1可知,甘肃河西走廊天然胡杨林分布区其他人工种植植物有4科4属5种,天然植物有14科35属38种。不同类型天然胡杨林特征为:(1)弃耕地胡杨林是指绿洲内部原耕种用地,周围有胡杨生长,近年来,因客观因素而放弃耕种,胡杨在弃耕地内自然繁殖生长而形成的林地,林地内胡杨长势与弃耕年限有一定的关系,弃耕年限较长的林地内枯梢枯枝现象明显,林地内其他人工种植植物有3科3属3种,天然植物有10科18属20种,植物总盖度为31.67%;(2)耕地及灌渠周围胡杨林是指绿洲内部现耕地周围及灌溉水渠周围存留下来的胡杨林,林内胡杨长势普遍较好,枯枝枯梢现象不明显,林地内其他人工种植植物有4科4属5种,天然植物有12科25属26种,植物总盖度为45.91%;(3)现河道沿岸胡杨林是指目前各流域水域汇集、径流地及周围呈点、带状分布的胡杨林,有山坡地、河阶地、河漫滩地等,林地内胡杨长势基本正常,个别龄级较大或林分密度较大的有枯枝枯梢现象,林地内无人工种植植物,其他天然植物有9科23属25种,植物总盖度为40.50%;(4)古河道及戈壁低洼地胡杨林是指因近年来内陆河流域水量减少,或因水利工程而河流改道,现已不再有水径流,但原有的胡杨林仍存活了下来,如老河道、荒漠沙丘地、戈壁低洼滩地等,胡杨长势较差,枯枝枯梢现象严重,有的呈树龄大而树体较小的"小老头"树,林地内无人工种

表1 不同类型天然胡杨林地特征及林下植物

Tab. 1 Characteristics of natural *Populus euphratica* forest types in Hexi Corridor

胡杨林类型	林地特征描述	主要植物种类	盖度/%
弃耕地林地	绿洲内原耕地,周围有胡杨树,因客观原因放弃耕种后胡杨在弃耕地内自然繁殖而形成的林地	二白杨、沙枣、柽柳、白刺、枸杞、黑果枸杞、甘草、宽叶独行菜、骆驼蓬、骆驼蒿、盐生草、黄花矶松、芦苇、苦豆子、沙拐枣、芨芨草、赖草、乳苣、猪毛菜、五星蒿、蝶果虫实、鹅绒藤、沙米	31.67
耕地及灌渠周围林地	绿洲内耕地、灌溉水渠周围生长不同龄级胡杨的林地	二白杨、新疆杨、榆树、沙枣、柽柳、梭梭、枸杞、黑果枸杞、白刺、沙拐枣、红砂、花花柴、苦豆子、盐生草、芨芨草、盐爪爪、甘草、芦苇、赖草、驼蹄瓣、猪毛菜、五星蒿、黄花矶松、骆驼蓬、骆驼蒿、田旋花、灰绿藜、乳苣、蒙古鸦葱、鹅绒藤、甘青铁线莲	45.91
现河道沿岸林地	各流域现水流汇集、径流、生长不同龄级胡杨的地带,有山坡地、河岸、河漫滩地等	柽柳、枸杞、黑果枸杞、骆驼刺、大叶白麻、珍珠猪毛菜、合头草、灌木亚菊、红花岩黄耆、河西菊、芨芨草、甘草、芦苇、猪毛菜、五星蒿、盐生草、甘青铁线莲、骆驼蓬、苦豆子、驼蹄瓣、灰绿藜、虎尾草、狗尾草、针茅、赖草	40.50
古河道及戈壁低洼地林地	因水量减少或河流改道,已多年没有水径流,但仍生长有胡杨的地域,如老河道、尾闾荒漠、戈壁低洼滩地等	柽柳、白刺、黑果枸杞、骆驼刺、大叶白麻、盐爪爪、花花柴、甘草、猪毛菜、盐生草、五星蒿、驼蹄瓣、黄花矶松、芦苇、芨芨草、乳苣、蝶果虫实、沙米、沙蒿	39.70

植植物,其他天然植物有9科19属19种,植物总盖度为39.70%。

不同类型胡杨林内天然植物以抗旱抗盐碱化的灌木、小灌木及草本为主,群落结构简单,多为单属单种。耕地及灌渠周围胡杨林出现的天然物种最多,有26种,其次为现河道沿岸25种,弃耕地林地20种,古河道和戈壁低洼地林地19种;耕地及灌渠周围胡杨林的植物总盖度最大,为45.91%,然后依次为现河道沿岸林地40.50%、古河道及戈壁低洼地林地39.70%、弃耕地林地31.67%。

3.3 不同类型胡杨林龄级结构与幼苗更新

不同类型胡杨林各龄级单位面积株数不同(表2),幼龄株数表现为:耕地及灌渠周围林地 > 弃耕地林地 > 现河道沿岸林地 > 古河道及戈壁低洼地林地,且古河道及戈壁低洼地林地明显小于其他3类林地($P < 0.05$);中龄株数表现为:耕地及灌渠周围林地明显大于其他3类林地($P < 0.05$);成熟龄株数则表现为:耕地及灌渠周围林地与现河道沿岸林地大于古河道及戈壁低洼地林地与弃耕地林地,但4种类型之间不具有显著性差异($P > 0.05$)。

不同类型胡杨林单位面积幼苗更新株数为耕地及灌渠周围林地最多,平均22.13株,然后依次为弃耕地林地20.92株、现河道沿岸林地10.50株、古河道及戈壁低洼地林地1.33株,且耕地及灌渠周围林地和弃耕地林地与其他2种林地,以及其他2种林地之间均具显著性差异($P < 0.05$)。

不同类型胡杨林生长情况不同,耕地及灌渠周围林地与现河道沿岸林地大部分胡杨生长正常,只有成熟龄以上的树木有枯枝枯梢现象;弃耕地林地胡杨生长与弃耕年限有关,弃耕年限较长的长势较

表2 不同类型胡杨林各龄级株数及幼苗株数

Tab. 2 Plant number of *Populus euphratica* at different ages in different types of woodland

胡杨林类型	各龄级株数/株			幼苗株数/株	胡杨长势
	C	Z	Y		
弃耕地林地	7.83±4.28	12.17±4.91a	19.67±4.91b	20.92±2.82c	整体生长弱,枯枝枯梢现象明显,尤其退耕年限较长的
耕地及灌渠周围林地	19.38±3.71	42.50±4.25b	26.75±4.25b	22.13±2.449c	大部分生长正常,成熟龄以上的树木有枯枝枯梢现象
现河道沿岸林地	19.80±3.32	22.50±3.80a	19.30±3.81b	10.50±2.18b	大部分生长正常,成熟龄以上的树木有枯枝枯梢现象
古河道及戈壁低洼地林地	13.89±3.50	14.89±4.01a	3.33±4.01a	1.33±2.30a	树木整体生长弱,枯枝枯梢现象严重。

注:C表示成熟龄级及以上树木,Z表示中龄级树木,Y表示幼龄级树木。不同小写字母表示结果具有显著性差异。

弱,枯枝枯梢现象明显;古河道及戈壁低洼地胡杨整体生长较弱,枯枝枯梢现象严重。

3.4 不同类型胡杨林土壤因子特征

3.4.1 不同类型胡杨林土壤养分　由表3可以看出,河西走廊天然胡杨林分布地土壤速效P在不同类型胡杨林中含量不同,各土层均表现为:现河道沿岸林地＜古河道及戈壁低洼地林地＜弃耕地林地、耕地和灌区周边林地;且0~20 cm、20~40 cm土层中,现河道沿岸胡杨林明显低于其他3种类型($P<0.05$),40~60 cm土层中,各类胡杨林间不具有显著差异($P>0.05$)。全N与有机质含量在不同类型胡杨林中无显著差异($P>0.05$)。

3.4.2 不同类型胡杨林土壤水分与电导率　表3显示,河西走廊天然胡杨林分布地土壤水分各样地之间存在很大差别,0~20 cm土层土壤水分含量为0.13%~21.31%,20~40 cm土层土壤水分含量为0.17%~35.14%,40~60 cm土层土壤水分含量为0.25%~28.23%。0~20 cm、20~40 cm土层中,不同类型林地土壤水分均为耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地高于弃耕地林地、古河道及戈壁低洼地林地,且具有显著差异($P<0.05$);40~60 cm土层中,各林地土壤水分差异不显著($P>0.05$)。土壤电导率除40~60 cm土层中现河道沿岸林地略高于耕地及灌渠周围林地外,其余各土层表现为:古河道及戈壁低洼地林地＞耕地及灌渠周围林地＞现河道沿岸林地＞弃耕地林地,且各土层中弃耕地林地电导率显著小于其他3类林地($P<0.05$),40~60 cm土层中古河道及戈壁低洼地林地电导率显著大于其他3类林地($P<0.05$)。

3.4.3 不同类型胡杨林土壤颗粒组成　由表4可以看出,河西走廊天然胡杨林分布区土壤颗粒组成特征为:不同类型林地土壤中细沙粒体积占比最大,为38.84%~54.65%,且不同林地不同土层之间差异性均不显著($P>0.05$);除耕地和灌渠周围林地土壤粉粒比粗沙粒占比大外,其余林地为粗沙粒(36.19%~54.42%)＞粉粒(5.41%~9.92%)＞黏粒(1.25%~2.08%),土壤粗沙粒、粉粒、黏粒体积占比在同类林地不同土层深度下变化不大,但不同林地之间表现不同,除0~20 cm土层中粗沙粒外,其余各土层耕地和灌渠周围林地土壤黏粒、粉粒、粗沙粒占比均高于其他3类林地($P<0.05$),而另外3类林地之间则无显著差异($P>0.05$)。

3.5 河西走廊天然胡杨林幼苗更新与土壤因子相关性分析

为了探究河西走廊天然胡杨林幼苗更新与土壤因子间的关系,计算了河西走廊天然胡杨林分布区各样地胡杨各龄级及幼苗株数与土壤因子之间的相关系数(表5)。由表5可以看出,速效P与中龄、幼龄及幼苗株数呈正相关关系(中龄与幼龄$P<0.01$,幼苗$P<0.05$),土壤含水率与中龄、幼龄及幼苗株数呈正相关关系($P<0.01$),土壤pH值与中龄株数呈负相关关系($P<0.01$),土壤电导率与中龄株数呈

表3　不同类型胡杨林土壤养分、水分及电导率

Tab. 3 Soil nutrient, moisture and electrical conductivity in different *Populus euphratica* forests

土层/cm	胡杨林类型	速效P /(mg·kg^{-1})	全N /(g·kg^{-1})	有机质 /(g·kg^{-1})	含水率/%	电导率 /(μS·cm^{-1})
0~20	弃耕地林地	20.64±3.80c	0.26±0.70	4.80±2.06	0.80±1.93a	310.8±1135.0a
	耕地及灌渠周围林地	21.99±3.10c	0.59±0.57	11.70±1.68	6.20±1.58b	3571.0±983.0b
	现河道沿岸林地	8.18±2.94a	0.42±0.54	6.55±1.59	3.70±1.50ab	2942.8±879.0b
	古河道及戈壁低洼地林地	11.95±3.10b	1.38±0.57	7.67±1.68	0.96±1.58a	4042. 6±927.0b
20~40	弃耕地林地	13.79±8.33b	0.20±0.90	4.30±2.27	1.13±2.89a	282.0±973.0a
	耕地及灌渠周围林地	13.58±8.63b	0.47±0.73	8.92±1.85	8.89±2.36b	2254.0±843.0b
	现河道沿岸林地	5.06±3.32a	0.39±0.70	6.81±1.76	5.48±2.24b	1646.0±754.0b
	古河道及戈壁低洼地林地	11.41±6.02b	1.67±0.73	7.07±1.85	1.58±2.36a	3773.0±794.0b
40~60	弃耕地林地	8.42±2.16	0.13±0.39	2.93±1.75	1.30±2.18	233.0±1376.0a
	耕地及灌渠周围林地	8.00±1.76	0.32±0.32	5.88±1.43	6.99±1.78	1300.0±1192.0b
	现河道沿岸林地	4.15±1.67	0.31±0.30	5.09±1.35	4.97±1.69	1372.0±1066.0b
	古河道及戈壁低洼地林地	7.35±1.76	0.84±0.32	6.70±1.43	2.04±1.78	5169.0±112.04c

注:不同小写字母表示同一土层不同类型胡杨林地差异显著($P<0.05$)。下同。

表4 不同类型胡杨林土壤颗粒物体积百分比

Tab. 4 Soil particulate matter of different *Populus euphratica* forests

土层/cm	胡杨林地类型	黏粒 < 0.002 mm	粉粒 0.002~0.02 mm	细沙粒 0.02~0.2 mm	粗沙粒 0.2~2 mm
0~20	弃耕地林地	1.83±0.79a	7.13±3.65a	46.41±7.91	44.64±9.48
	耕地及灌渠周围林地	6.58±0.68b	27.85±3.16b	46.19±6.85	19.38±8.21
	现河道沿岸林地	1.76±0.61a	8.00±2.83a	49.70±6.13	40.54±7.34
	古河道及戈壁低洼地林地	1.28±0.65a	6.59±2.98a	54.65±6.46	37.48±7.74
20~40	弃耕地林地	1.25±0.76a	5.59±3.68a	42.46±7.20	50.70±8.71b
	耕地及灌渠周围林地	7.71±0.66b	31.06±3.18b	46.56±6.23	14.66±7.55a
	现河道沿岸林地	2.08±0.59a	9.92±2.85a	51.82±5.58	36.19±6.75b
	古河道及戈壁低洼地林地	2.00±0.62a	9.33±3.00a	51.90±5.88	36.77±7.11b
40~60	弃耕地林地	1.35±0.98a	5.41±4.17a	38.84±8.25	54.42±9.14b
	耕地及灌渠周围林地	6.80±0.85b	26.62±3.61b	52.69±7.14	13.90±7.91a
	现河道沿岸林地	1.87±0.76a	8.48±3.23a	45.38±6.39	44.27±7.08b
	古河道及戈壁低洼地林地	1.61±0.80a	7.78±3.40a	49.57±6.73	41.04±7.46b

表5 胡杨各龄级及幼苗株数与土壤因子相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between number of different ages of *Populus euphratica* and soil factors

胡杨龄级	土壤速效P	土壤全N	土壤pH	土壤有机质	土壤含水率	土壤电导率
成熟龄	0.081	0.065	−0.019	−0.130	−0.198	0.039
中龄	0.458**	0.023	−0.277**	0.015	0.260**	0.199*
幼龄	0.408**	−0.090	−0.186	−0.052	0.295**	0.149
幼苗	0.415*	−0.115	−0.105	0.188	0.353**	0.047

注:*表示相关系数P<0.05;**表示相关系数P<0.01。

正相关关系(P<0.05),除此之外,其余土壤因子与胡杨幼龄株数和更新幼苗株数没有相关关系。

4 讨论

4.1 河西走廊天然胡杨分布、生长及林分特征

河西走廊天然胡杨主要分布在黑河、疏勒河和石羊河三大内陆河流域河岸及冲积平原,据报道20世纪50年代之前,河西内陆河流域分布有集中连片的胡杨林[20]。近70 a来,随着农耕面积扩大,而后又有一部分弃耕撂荒,以及在全球气候变暖的大环境和地方水资源统筹配置利用的影响下,各流域下游水量锐减,土地旱化、荒漠化、盐渍化日趋严重,植被退化,物种减少,造成天然胡杨林大面积衰退、死亡[6,13]。目前,河西走廊天然胡杨林分布以三大流域的河岸阶地、古河道阶地及各流域下游绿洲耕地边缘为主。胡杨林类型主要有弃耕地胡杨林、耕地及灌渠周围胡杨林、现河道沿岸胡杨林、古河道及戈壁低洼地胡杨林四大类型。

河西走廊胡杨林分布现状的形成,与三大流域水系密切相关,同时也受自然环境、地方水资源统筹以及毁林开垦等因素影响。调查发现:(1)人们在毁林开垦的过程中,保留了土壤条件相对差的胡杨林地,形成了目前零星的点片状分布在绿洲内部农耕地周围的胡杨林,这类林地上的胡杨大部分生长正常,只有成熟龄以上的树木有少量枯枝枯梢现象,单位面积内中龄级株数最多,均值为42.50株,幼龄级与更新幼苗株数次之,均值分别为26.75株、22.13株,成熟龄级株数最少,均值为19.38株,说明胡杨种群更新较好,研究认为这与农耕地耕作、灌溉过程中间接为胡杨林地提供水分、养分有一定的关系;(2)各流域沿河流两岸呈点、片状或带状分布的胡杨林,长势相对较好,林分内成熟龄、中龄、幼龄及更新幼苗株数分布相对比较均衡,单位面积内均值分别为19.80株、22.50株、19.30株、10.50株,与河水径流给胡杨林补给水分有一定的关系;但个别地段如金塔北部黑河河阶地胡杨,因畜牲啃食和风蚀现象严重,大部分更新幼苗或枯死、或只留残根,成龄树木因风蚀严重主根裸露达1 m以上,使大量

的胡杨枯枝、枯梢、枯杆甚至死亡,林下原生植被退化,林分衰败,林地沙化,生态进一步恶化,使胡杨种群更新受阻;(3) 毁林垦种后,有一部分耕地因地方政策的变化而放弃耕种的土地,因周边存留胡杨的繁殖,在弃耕地上萌生出了大量的幼龄树和幼苗,形成了“弃耕地胡杨林”,因在原来的耕作层,土壤水分、土壤养分、土壤疏松度均有利于胡杨根蘖繁殖[21],一旦弃耕且无人为砍采破坏的情况下,就会更新出大量的幼苗,这也就是弃耕地内胡杨更新幼苗株数最多,单位面积内均值为20.92株,其次为幼龄株数,单位面积均值19.67株,成龄株数最少,单位面积均值7.83株的主要原因;弃耕地内胡杨整体生长较弱,有枯枝枯梢现象,且退耕年限越长枯枝枯梢量越大,这是因为弃耕前期,土壤条件尚可,随着弃耕年限的增加,无灌溉水分补给,土壤水分逐年减少,无法满足胡杨正常生长,又因弃耕后同时萌发出的幼苗密度较大,个体间由于争水、争光、争空间的因素[22],制约了胡杨的正常生长;(4) 近年来各流域上游来水量递减,支流萎缩或河流改道,老河道长期干旱缺水,无法为存留下来的胡杨正常生长提供水分;而戈壁低洼地则受降水影响,土壤水分或得不到及时补充,或遭洪涝,林地长期排水不畅,在强度的蒸发量下,林下土壤盐渍化严重,土壤条件不利于胡杨生长繁殖,因此,古河道及戈壁低洼地林地内的胡杨长势较差,枯枝枯梢现象严重,有的呈树龄大而树体较小的“小老头”树,胡杨密度低,且多以成熟龄和中龄为主,幼龄和幼苗极少,单位面积内成熟龄和中龄均值分别13.89株、14.89株,幼龄均值为3.33株,更新幼苗均值仅1.33株,林地内胡杨更新受阻。

调查发现,弃耕地林地胡杨更新幼苗数多萌生于原有胡杨树木周围的弃耕地中,耕地及灌渠周围林地以及现河道沿岸林地胡杨更新幼苗多萌生于河道边、耕地边及新修水渠沿线,且林地边缘、林内通道旁萌发的幼苗数量比林地内部要多,这一现象说明在人类活动的扰动下,胡杨扩展根的粗糙度增加或断裂,根蘖萌发能力增加[23],扩展根周围的土壤物理结构、土壤养分、土壤水分均受到一定的影响,加速了胡杨繁殖更新[24],因此,人类适度的活动有利于胡杨更新。调查又发现,大部分弃耕地中的更新幼苗会因土地复耕而遭到毁灭,耕地及灌渠周围林地中大部分胡杨更新幼苗会因影响农田耕作而被铲除,现河道沿岸林地中的更新幼苗会因畜牲的过度啃食而死亡,这些也是限制胡杨自然更新的主要因素之一。

4.2 河西走廊天然胡杨林地土壤因子特征

河西走廊天然胡杨不同类型林地土壤水分含量差别较大,耕地及灌渠周围林地与现河道沿岸林地因耕地灌溉和河水径流,为胡杨林地直接或间接提供了水分,使其土壤水分明显高于古河道及戈壁低洼地林地与弃耕地林地,且在0~20 cm、20~40 cm土层中,差异性极显著($P<0.05$);而古河道及戈壁低洼地林地与弃耕地林地土壤水分只是依靠自然降水提供,研究区属年降水稀少地区,因此,土壤含水量相对较低。

不同类型林地各土层速效P含量为弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地高于古河道及戈壁低洼地林地与现河道沿岸林地,且土层0~20 cm、20~40 cm中差异性极显著($P<0.05$),这一方面与农田耕作过程中施用化肥有关,另一方面也与林下植物丰富、盖度大,枯枝落叶和腐殖质增多,土壤表面性质得到改善有关[22]。

不同类型林地土壤电导率表现为:古河道及戈壁低洼地林地 > 耕地及灌渠周围林地 > 现河道沿岸林地 > 弃耕地林地,且40~60 cm土层中古河道及戈壁低洼地林地电导率显著大于其他3类林地($P<0.05$),说明古河道及戈壁低洼地林地土壤盐碱度最高,这与降水量小而蒸发量大,以及林地植物种类少盖度小等有一定的关系。尽管成年胡杨泌盐能力较强,可通过“胡杨泪”将盐分分泌到体外,但其根蘖繁殖会因高盐环境的影响而受到抑制,这也就是古河道及戈壁低洼地林地内胡杨更新幼苗极少的原因。

不同类型林地土壤颗粒组成整体表现为:细沙粒体积占比最大,然后依次为粗沙粒、粉粒、黏粒;各土层中耕地和灌渠周围林地土壤黏粒、粉粒占比均高于其他3类林地,且差异性极显著($P<0.05$),而另外3类林地之间各土层各指标差异性不显著($P>0.05$)。说明耕地和灌渠周围林地土壤含砂量相对较低,土壤保水保墒能力强,更利于胡杨等植物的生长、更新。

4.3 河西走廊天然胡杨更新与土壤因子关系

森林更新是森林恢复和群落演替的重要过程,是保障种群持续生存和繁衍的基础[25],而土壤则是

生态系统中许多生态过程的载体,是植物生长发育的基础[26],土壤养分综合反映了气候、地形、水分等特征,是土壤的重要组成部分[27]。在干旱与半干旱区,土壤水分则是植物生长的主要限制因子,对其种群更新发育有重要的影响[28-29]。胡杨的自然更新主要通过根蘖即串根繁殖进行,其根系向外水平扩展可达十几米。但这种自然更新与其土壤的水分有密切的关系,通常在前一年的秋季林地水分含量较多,次年则可萌发出较多的新株,而林地水分的获得主要来自于当年是否发生洪水灌溉[23]。

河西走廊天然胡杨不同类型林地土壤水分不同,胡杨长势与更新状况也不相同。因有河水径流和耕地灌溉直接或间接为区域林地补充水分,耕地及灌渠周围林地和现河道沿岸林地土壤水分明显高于古河道及戈壁低洼地林地和弃耕地林地,相应地这两类林地胡杨长势表现较好或正常、单位面积内胡杨更新幼苗株数也较多。弃耕地林地土壤水分含量低,单位面积更新幼苗株数却最多,是因为没有弃耕前,土壤中分布着大量的胡杨扩展繁殖根,农田耕作过程中对胡杨扩展繁殖根的性能和土壤质地造成了很大的影响,一定程度上促进了胡杨根蘖苗萌发,耕地一旦弃耕,就有大量幼苗萌出并存活,这与王雨辰[30]的研究结果一致。调查结果还表明,弃耕地林地胡杨幼苗数量多、密度大,对土壤水分的消耗也大,随着退耕年限的增加,弃耕地植被种类和数量有所增加,进一步加速了土壤含水量的降低[22],在无灌溉水补充的情况下,胡杨幼树长势衰弱甚至大量幼苗死亡,这也进一步表明,胡杨生长更新与土壤水分呈正相关关系(P<0.01)。

研究发现,胡杨根蘖发生部位多在15~25 cm深度的扩展根上,而弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地0~20 cm、20~40 cm土层中速效P含量显著高于古河道及戈壁低洼地林地与现河道沿岸林地(P<0.05),且弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地胡杨更新幼苗数量也明显高于其他林地,速效P含量与各林地中龄、幼龄及幼苗株数呈正相关关系(中龄与幼龄P<0.01,幼苗P<0.05),说明土壤速效P含量高有利于胡杨繁殖更新[31]。不同类型林地土壤全N、有机质含量从高到低分别为:古河道及戈壁低洼地林地、耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地、弃耕地林地和耕地及灌渠周围林地、古河道及戈壁低洼地林地、现河道沿岸林地、弃耕地林地,各林地、各土层土壤全N、有机质含量差异性均不显著,其表现规律与胡杨各龄级及幼苗株数没有相关性,表明在本研究中土壤全N、有机质含量对胡杨更新影响不大。

土壤电导率是测定土壤水溶性盐的指标,也是判断土壤酸化和次生盐渍化的重要指标,土壤盐分含量较高时,会抑制植物的繁殖和生长[32]。本研究中,尽管土壤电导率与幼龄级株数和幼苗株数之间均无相关关系,但电导率整体表现为:古河道及戈壁低洼地林地>耕地及灌渠周围林地>现河道沿岸林地>弃耕地林地,且各土层中弃耕地林地电导率显著小于其他3类林地(P<0.05),而各类型林地单位面积内幼龄株数和幼苗株数则呈反向排序,即土壤电导率越小胡杨幼龄级株数和更新幼苗株数越多,说明在本研究土壤电导率范围内,土壤电导率越小越利于胡杨根蘖繁殖。

土壤物理结构和颗粒组成决定了土壤的保肥保水能力,含砂量较小砂质壤土或黏壤土更利于胡杨根蘖繁殖[33]。河西走廊天然胡杨林分布区土壤颗粒特征为细沙粒体积占比最大,然后除了耕地和灌渠周围林地土壤粉粒比粗沙粒占比大外,其余林地为粗沙粒>粉粒>黏粒,且只有耕地和灌渠周围林地各土层土壤黏粒、粉粒占比显著高于其他林地(P<0.05),另外3类林地之间各指标差异性不显著(P>0.05),但不同林地胡杨生长、更新状况与土壤颗粒组成占比规律并不一致,说明本研究中,胡杨分布区土壤颗粒对胡杨的生长和更新没有造成明显的影响。

5 结 论

(1) 甘肃河西走廊天然胡杨沿三大内陆河水系,在河岸阶地、河道周围、绿洲边缘及耕地周围呈点片状分布,胡杨林地主要有弃耕地林地、耕地及灌渠周围林地、现河道沿岸林地、古河道及戈壁低洼地林地四大类型。各流域上游来水量的减少、地下水位的下降及人为活动是造成分布现状的主要原因,也是影响胡杨生长和更新的主要因素。

(2) 目前立地条件下,耕地及灌渠周围林地和现河道沿岸林地胡杨长势正常、单位面积各龄级株数均衡,有一定数量的更新幼苗,胡杨林可实现持续发展;弃耕地林地更新幼苗数虽然最多,但在没

有后续水分补给的情况下，幼苗会随着退耕年限的增加而生长衰败；古河道及戈壁低洼地林地胡杨林则因土壤水分的进一步减少和次生盐渍化程度的加重而呈衰败趋势。

（3）土壤含水率和速效P与中龄、幼龄及幼苗株数均呈正相关关系，也进一步说明，土壤水分和养分对胡杨生长更新具有重要作用。

（4）研究区胡杨林具有一定的自然更新能力，合理分配水资源，减缓地下水位下降及适度补充胡杨分布区土壤水分是维护河西走廊天然胡杨健康发展的有效途径。

参考文献（References）：

[1] 张宁, 李宝富, 徐彤彤, 等. 1960−2012年全球胡杨分布区干旱指数时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(7): 121−126. [Zhang Ning, Li Baofu, Xu Tongtong, et al. Spatiotemporal variations of drought index in *Populus euphratica* global distribution area the past 50 years(1960−2012)[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(7): 121−126.]

[2] 肖春生, 肖洪浪, 司建华, 等. 胡杨(*Populus euphratica*)径向生长日变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(4): 816−822. [Xiao Chunsheng, Xiao Honglang, Si Jianhua, et al. Study on the sub-diurnal radial growth of the *Populus euphratica*[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(4): 816−822.]

[3] 王夏楠, 王亮, 吕瑞恒, 等. 塔里木河中游不同生境胡杨种群的结构特征分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 30(5): 1−6. [Wang Xianan, Wang Liang, Lyu Ruiheng, et al. Population structure characteristics of *Populus euphratica* in different habitats of the Tarim River middle reaches[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5): 1−6.]

[4] 高润宏, 董智, 张昊, 等. 额济纳绿洲胡杨林更新及群落生物多样性动态[J]. 生态学报, 2005, 25(5): 1019−1025. [Gao Runhong, Dong Zhi, Zhang Hao, et al. Study on regeneration process and biodiversity characteristic of *Populus euphratica* community in the Ejina Natural Reserve, Inner Mongolia of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 1019−1025.]

[5] 张克新, 刘普幸, 霍华丽, 等. 河西走廊敦煌绿洲天然胡杨林土壤水分空间变化特征研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 109−113. [Zhang Kexin, Liu Puxing, Huo Huali, et al. The spatial variations of soil water content under the *Populus euphratica* in Dunhuang Oasis in Hexi Corridor[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(5): 109−113.]

[6] 李并成. 河西走廊历史时期沙漠化研究[M]. 北京: 科学出版社, 2003. [Li Bingcheng. Study on Desertification in the Historical Period of Hexi Corridor[M]. Beijing: Science Press, 2003.]

[7] 魏轩, 周立华, 马永欢, 等. 民勤绿洲50余年水利建设的生态经济影响[J]. 干旱区地理, 2015, 38(5): 1014−1021. [Wei Xuan, Zhou Lihua, Ma Yonghuan, et al. Ecological and economic impacts of water conservancy construction in Minqin Oasis of more than 50 years[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(5): 1014−1021.]

[8] 马俊梅, 马剑平, 满多清, 等. 石羊河下游天然胡杨林分布特征及土壤特性分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(2): 15−23. [Ma Junmei, Ma Jianping, Man Duoqing, et al. Distribution and soil characteristics of natural *Populus euphratica* forests in the lower reaches of Shiyang River[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3): 15−23.]

[9] 杨玉海, 李卫红, 陈亚宁, 等. 极端干旱区自然环境下胡杨幼株对土壤渐进式干旱的生理响应[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 171−176. [Yang Yuhai, Li Weihong, Chen Yaning, et al. Physiological response of *Populus euphratica* seedlings to progressive soil drought under natural environment in an extreme arid area[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(11): 171−176.]

[10] 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游断流河道的输水的生态响应与生态恢复[J]. 干旱区研究, 2006, 23(4): 521−530. [Chen Yaning, Li Weihong, Chen Yapeng, et al. Ecological response and ecological regeneration of transfusing stream water along the dried-up watercourse in the lower reaches of the Tarim River, Xinjiang[J]. Arid Zone Rrsearch, 2006, 23(4): 521−530.]

[11] 张武文, 史生胜. 额济纳绿洲地下水动态与植被退化关系的研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 421−425. [Zhang Wuwen, Shi Shengsheng. Study on the relation between groundwater dynamics and vegetation degeneration in Erjina Oasis[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(4): 421−425.]

[12] 罗晓云, 崔长勇. 内蒙古额济纳地区胡杨林退化原因的探讨——以"怪树林"为例[J]. 地质科技情报, 2004, 23(1): 82−85. [Luo Xiaoyun, Cui Changyong. Reason for the degradation of *Populus euphratica* in Ejina area, Inner Mongolia: A case study in "Strange forest"[J]. Geological Science and Technology Iinformation, 2004, 23(1): 82−85.]

[13] 马剑平, 满多清, 马俊梅, 等. 河西胡杨林变化探析[J]. 防护林科技, 2021, 213(6): 64−67. [Ma Jianping, Man Duoqing, Ma Junmei, et al. Changes of *Populus euphratica* forest in Hexi[J]. Protection Forest Science and Technology, 2021, 213(6): 64−67.]

[14] 崔德宝. 艾比湖自然保护区阿其克苏河流域胡杨根蘖繁殖特征及影响因素研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2011. [Cui Debao. Character of Root Suckers of *Populus euphratica* and Influencing Factors along the Aqikesu River Band in Ebinur Lake Natrue Reserve[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2011.]

[15] 王子康, 焦阿永, 凌红波, 等. 不同灌溉模式下胡杨断根处理根蘖繁殖特征[J]. 干旱区研究, 2022, 39(4): 1133−1142. [Wang Zikang, Jiao Ayong, Ling Hongbo, et al. Characteristics of *Populus euphratica* root under various irrigation modes[J]. Arid Zone Rrsearch, 2022, 39(4): 1133−1142.]

[16] 周伟磊. 额济纳绿洲胡杨林更新及植物多样性维持机制[D]. 北京: 北京林业大学, 2011. [Zhou Weilei. Regeneration and Plant

Diversity Maintenance of *Populus euphratica* Forest in Ejina Oasis [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.]

[17] 王海蓉, 郝鹏, 仲家虎, 等. 额济纳绿洲不同龄级胡杨林群落多样性分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2012(3): 93-96. [Wang Hairong, Hao Peng, Zhong Jiahu, et al. Community diversity analysis of *Populus euphratica* forest of different age grades in Ejin Oasis [J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2012(3): 93-96.]

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 23-107. [Bao Shidan. Agrochemical Analysis of Soil[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 23-107.]

[19] 满多清, 马俊梅, 马剑平, 等. 甘肃河西胡杨林现状及其退化林恢复技术[J]. 中国科技成果, 2021, 22(18): 28-30. [Man Duoqing, Ma Junmei, Ma Jianping, et al. Present situation of *Populus euphratica* forest and its restoration techniques in Hexi, Gansu Province[J]. China Science and Technology Achievements, 2021, 22 (18): 28-30.]

[20] 马剑平, 常兆丰, 张元恺, 等. 民勤沙区胡杨林健康序列及其影响因子分析[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(6): 31-38. [Ma Jianping, Chang Zhaofeng, Zhang Yuankai, et al. Health sequence and influencing factors of *Populus euphratica* forest in Minqin desert area[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(6): 31-38.]

[21] 高安岭, 王文娟, 邓如军, 等. 人为干扰对绿洲胡杨种群特征和水肥条件的影响[J]. 内蒙古林业调查设计, 2019, 42(2): 44-48, 31. [Gao Anling, Wang Wenjuan, Deng Rujun, et al. Effects of human disturbance on the population characteristics and water and fertilizer conditions of oasis *Populus euphratica*[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2019, 42(2): 44-48, 31.]

[22] 马俊梅, 满多清, 李得禄, 等. 干旱荒漠区退耕地植被演替及土壤水分变化[J]. 中国沙漠, 2018, 38(4): 800-807. [Ma Junmei, Man Duoqing, Li Delu, et al. Characteristics of vegetation succession and soil moisture in abandoned cropland of arid desert region [J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(4): 800-807.]

[23] 韩建华, 周芳, 张丽霞, 等. 构筑北方生态安全屏障——四子王旗胡杨林自然繁殖及人工更新探讨[J]. 林业科技情报, 2021, 53(2): 19-22, 25. [Han Jianhua, Zhou Fang, Zhang Lixia, et al. Construct the ecological security barrier in the North——Discussion on natural reproduction and artificial regeneration of *Populus euphratica* in Siziwang banner[J]. Forestry Science and Technology Information, 2021, 53(2): 19-22, 25.]

[24] 武逢平, 李俊清, 李景文, 等. 胡杨(*Populus euphratica*)在额济纳绿洲三种生境内的根蘖繁殖特性[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4703-4709. [Wu Fengping, Li Junqing, Li Jingwen, et al. The characteristics of root suckers of *Populus euphratica* Oliv. in three habitats of Ejina oasis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4703-4709.]

[25] 卢德亮, 朱教君, 王高峰. 树木萌蘖更新研究进展与展望[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4178-4184. [Lu Deliang, Zhu Jiaojun, Wang Gaofeng. Resprouting of tree species: A research review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(12): 4178-4184.]

[26] 胡婵娟, 郭雷. 植被恢复的生态效应研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1640-1646. [Hu Chanjuan, Guo Lei. Advances in the research of ecological effects of vegetation restor ation[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(9): 1640-1646.]

[27] 王晶, 吕昭智, 钱翌, 等. 新疆准噶尔盆地典型荒漠区不同景观植被对土壤养分的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1367-1373. [Wang Jing, Lv Zhaozhi, Qian Yi, et al. Soil nutrients under vegetation cover of different desert landscapes in Junggar basin, Xinjiang [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(6): 1367-1373.]

[28] Nobel P. Root distribution and seasonal production in the northwestern Sonoran Desert for a C3 subshrub, a C4 bunchgrass, and a CAM leaf succulent[J]. American Journal of Botany, 1997, 84(7): 949-955.

[29] 霍华丽, 刘普幸, 张克新, 等. 瓜州绿洲胡杨林下土壤水分空间特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(2): 151-155. [Huo Huali, Liu Puxing, Zhang Kexin, et al. The spatial heterogeneity of soil water in the *Populus euphratica* forest in Guazhou Oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(2): 151-155.]

[30] 王雨辰. 胡杨繁殖根扩展行为及其影响因子研究[D]. 北京:北京林业大学, 2020. [Wang Yuchen. Study on the Foraging Behavior of Clonal Roots and Its Influencing Factors of *Populus euphratica*[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.]

[31] 王雨辰, 王文娟, 钟悦鸣, 等. 胡杨繁殖根扩展行为及其影响因子研究[J]. 植物科学学报, 2020, 38(3): 410-417. [Wang Yuchen, Wang Wenjuan, Zhong Yueming, et al. Study on the foraging behavior of clonal roots and its influencing factors in *Populus euphratica* Oliv. [J]. Plant Science Journal, 2020, 38(3): 410-417.]

[32] 井家林, 夏延国, 郝鹏, 等. 土壤类型及其含水量与盐分对胡杨根蘖发生影响[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(12): 42-46, 63. [Jing Jialin, Xia Yanguo, Hao Peng, et al. Impacts of soil type, water content and salinity on the root sucker occurrence mechanism of *Populus euphratica*[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(12): 42-46, 63.]

[33] 叶子奇, 邓如军, 王雨辰, 等. 胡杨繁殖根系分枝特征及其与土壤因子的关联性[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(2): 31-39. [Ye Ziqi, Deng Rujun, Wang Yuchen, et al. Branching patterns of clonal root of *Populus euphratica* and its associations with soil factors[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(2): 31-39.]

Distribution and regeneration characteristics of natural *Populus euphratica* forests in Hexi Corridor and their relationship with soil factors

MA Junmei[1,2], MA Jianping[1], MAN Duoqing[1], GUO Chunxiu[1,2], ZHANG Yunian[1,2], ZHAO Peng[1], WANG Fei[1], LI Yuanxing[1]

(1. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, Gansu, China)

Abstract: A thorough investigation of the distribution of natural *Populus euphratica*, tree growth, regeneration characteristics, soil types, and factors in the Hexi Corridor was conducted. The distribution and regeneration status of natural *P. euphratica* in the Hexi Corridor, as well as its relationship with soil factors, were then examined. The results showed that: (1) Natural *P. euphratica* forests in the Hexi Corridor were mainly distributed in riparian terraces, ancient river terraces and the edge of oasis cultivated land in the lower reaches of Shule River, Black River, and Shiyang River. There are four main types of forest land: abandoned land, the land around cultivated fields and irrigation canals, land along the current river course, and land among ancient river course and Gobi low-lying land. (2) The growth status, age structure, and seedling regeneration of *P. euphratica* in the land around cultivated fields and irrigation canal, land along the current river course are better than those of the abandoned land, and among ancient river course and Gobi low-lying land. In terms of the number of renewed seedlings per unit area, the land around the cultivated field and irrigation canal was the largest, with an average value of 22.13, followed by abandoned cultivated land (20.92), land along the current river course (10.50), and among ancient river course and Gobi low-lying land (1.33). (3) Different types of *P. euphratica* forests have different soil factor contents: (i) Available P: In the 0−20 cm soil layer, the soil available phosphorus showed the trend as; land along the current river course < land among ancient river course and Gobi low-lying land < abandoned land, land around cultivated field and irrigation canal cultivated land; in the 20−40 cm soil layer, land along the current river course had significant less available phosphorus than the other three types of forest land (all $P < 0.05$); (ii) Moisture content was higher in the land around cultivated fields and irrigation canals, and land along the current river course than in abandoned land, land among ancient river course and Gobi low-lying land (all $P < 0.05$); (iii) In comparison to the other three types of forest land, abandoned land has significantly lower soil conductivity between the 0−20 cm and 20−40 cm soil layers ($P < 0.05$). There was no significant difference in the contents of total N and organic matter among different types of forest land ($P > 0.05$) and in the 40−60 cm soil layer, land among the ancient river course and Gobi low-lying land was significantly higher ($P < 0.05$). Except for the coarse sand in the 0−20 cm soil layer, the soil clay particles, silt particles, and coarse particles in the land around the cultivated field and irrigation canal performed significantly higher than those in the other three types of forest land ($P < 0.05$). (4) The contents of soil moisture and available P were positively correlated with the middle and young age of *P. euphratica* and the number of seedlings ($P < 0.05$). (5) To encourage the sustainable development of *P. euphratica* forest, improve forest management and protection, timely thinning, removal of branches and dieback, thinning, and irrigation.

Keywords: Hexi Corridor; natural *Populus euphratica*; distribution renewal; soil factor